



PS1 – S1-08



Информационное обеспечение системы мониторинга распределённых параметров ЛЭП на основе рефлектометров

М.Ш. МИСРИХАНОВ, А.Л. КУЛИКОВ, А.А. ПЕТРУХИН, А.С. СВЕЧНИКОВ
ОАО «ФСК ЕЭС»
Россия
svecha88@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Определение мест повреждений, мониторинг, автоматический локационный искатель мест повреждений.

1 ВВЕДЕНИЕ

В концепции развития электроэнергетики сегодня наиболее остро стоит вопрос построения интеллектуальной сети (smart grid). Важными требованиями построения такой сети являются надёжность и бесперебойность электроснабжения. Для обеспечения надёжности ЛЭП высокого напряжения необходима не только их модернизация, но и своевременное выявление и устранение отклонений технологических параметров. В настоящее время поиск неисправностей и повреждений ЛЭП ведётся посредством их визуального осмотра линейными бригадами, в некоторых случаях с привлечением малой авиации, что связано с большими временными и материальными затратами. В связи с этим, актуальной становится задача создания системы дистанционного мониторинга локальных параметров ЛЭП. В отличие от существующих приборов определения места повреждения система мониторинга должна выполнять не только функцию определения места повреждения (ОМП), но и контролировать с заданной периодичностью отклонения распределённых параметров линии, обладая при этом высокой чувствительностью.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Принципы построения системы мониторинга

Основой для разработки системы мониторинга параметров ЛЭП могут стать приборы, основанные на методах активного зондирования, - рефлектометры. Такие приборы способны дистанционно фиксировать локальные отклонения параметров длинной линии, объединяющие следующие виды повреждений:

- обрывы и замыкания проводов;
- снижение уровня изоляции;
- изменения расстояния между токоведущими проводами воздушных линий и древесно-кустарниковой растительностью;
- образование гололёда на воздушных ЛЭП.

Для мониторинга воздушных ЛЭП разработан автоматический локационный искатель мест повреждения (АЛИМП) рис. 1.



Рис. 1: Внешний вид прибора АЛИМП

К особенностям рефлектометра АЛИМП можно отнести применение в качестве зондирующих импульсов сигналов с линейно-частотной модуляцией. Применение сложных модулированных сигналов обосновывается необходимостью излучать сигнал небольшой мощности, но при этом получать высокую чувствительность к изменениям параметров ЛЭП с требуемой точностью измерения расстояния до мест повреждения. Отраженные сигналы поступают в приёмное устройство и обрабатываются цифровым сигнальным процессором. В результате формируется рефлектограмма, которая отображает уровни отраженных сигналов от неоднородностей ЛЭП.

Примеры рефлектограмм представлены на рис. 2. В нижней части рисунка приведены рефлектограммы с повреждением (замыкание на землю) – сплошной линией и без повреждения – штрихпунктирной линией. В верхней части рисунка изображена относительная рефлектограмма, полученная в результате вычитания первых двух.

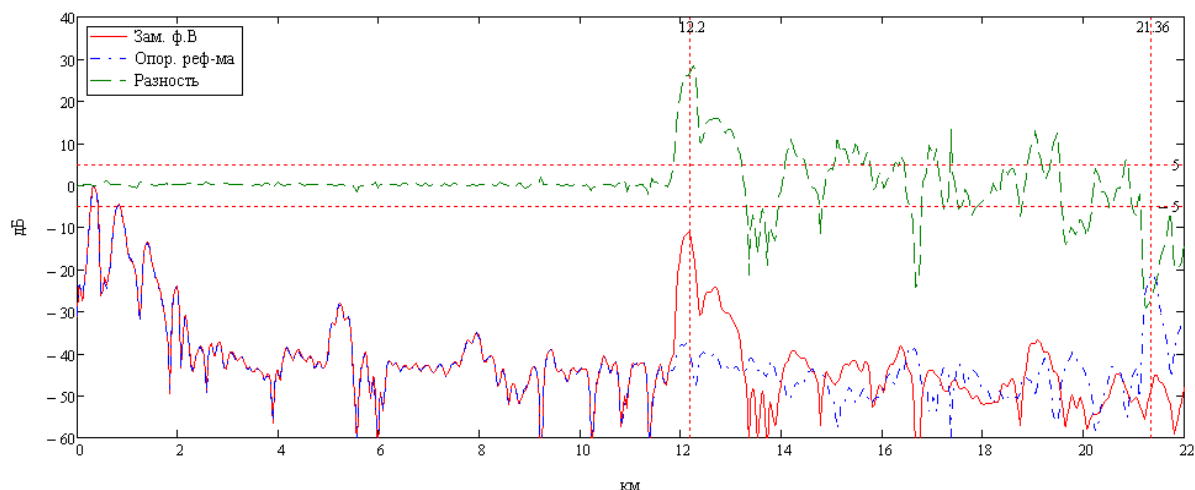


Рис. 2: Штрихпунктирная линия внизу – опорная рефлектограмма;
сплошная линия соответствует замыканию на землю фазы «В»;
пунктирная линия сверху – разность между рефлектограммами

Относительные изменения уровня отражённого сигнала характеризуют изменения локальных параметров ЛЭП, таких как ёмкостное, индуктивное и активное сопротивление. Экспериментальные данные [1] показывают, что амплитуда отражённого сигнала в наибольшей степени зависит от изменений ёмкостных составляющих параметров линии, отражающих изменение расстояний между проводящими частями ЛЭП и землёй, а также от изменения диэлектрической составляющей изоляции.

2.2 Алгоритмы обработки информации

Обобщённый алгоритм обработки получаемой информации показан на рис. 3. В отражённом сигнале, кроме полезного сигнала, содержатся помехи и шумы, поэтому при формировании рефлектограммы необходимо иметь максимальное отношение сигнал/шум+помеха. Такое условие выполняется применением следующих алгоритмов фильтрации принятого сигнала:

- селективная частотная фильтрация – обеспечивает режекцию (удаление) узкополосных сигналов;
- согласованная фильтрация и накопление принятых рефлектограмм по массиву многократного зондирования – реализует увеличение отношения «полезного сигнала / помехи»;
- селективная временная фильтрация по пачке зондирования - выполняет защиту от одиночных случайных импульсных помех.

Перечисленные выше алгоритмы фильтрации реализованы на цифровом сигнальном процессоре, установленном непосредственно в приборе.

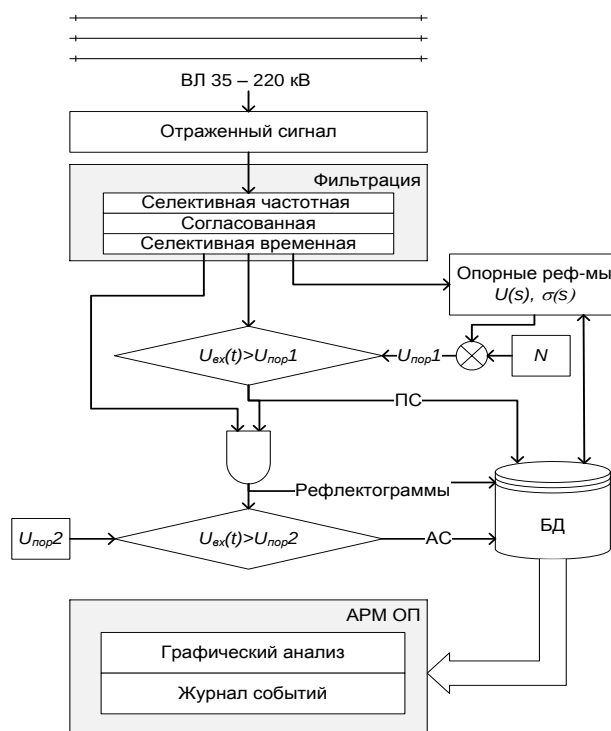


Рис. 3: Алгоритм обработки информации

Конечным результатом работы устройства АЛИМП является обнаружение отклонения (места повреждения) электрических параметров ЛЭП, измерение уровня этого отклонения и вычисление дистанции. Наличие в принимаемом сигнале шумов и помех приводит к ошибкам измерения. Решение об обнаружении сводится к алгоритму сравнения принятой величины с установленным порогом по критерию Неймана – Пирсона [2] при максимизации вероятности правильного обнаружения и фиксированной вероятности ложной тревоги. Для этого при снятии опорной рефлектограммы сигнальный процессор по множеству реализаций подсчитывает среднее квадратичное отклонение ($\sigma(s)$) для всех локальных дистанций линии. Порог обнаружения ($U_{\text{пор1}}$) вычисляется путем умножения $\sigma(s)$ на нормирующий коэффициент N , который определяется автоматически расчётной программой или устанавливается вручную с панели прибора. После обнаружения возникшей неоднородности параметров ЛЭП прибор классифицирует отклонения по уровню и длительности. Технологические отклонения подразделяются на аварийные (повреждение ЛЭП) и предупредительные в зависимости от задаваемых пороговых значений. Для аварийных отклонений устанавливается пороговое значение $U_{\text{пор2}}$. Расстояние до места отклонения (повреждения ЛЭП) определяется по дистанции до первого локального превышения уровня порога (рис. 2). Результаты фиксации повреждений передаются на верхние уровни в базу данных (БД) или в АСУ ТП подстанции. В случае индивидуальной работы с прибором оперативного или релейного персонала, если прибор используется как самостоятельное устройство, результат вычисления отображается на цифровой панели прибора.

Система мониторинга ЛЭП может содержать один прибор, обслуживающий до 5-ти воздушных ЛЭП, или строиться с применением группы устройств АЛИМП, работающих в режиме периодического зондирования линий. Структурная схема системы представлена на рис. 4. Основными частями системы являются устройства АЛИМП; сервер базы данных для хранения рефлектограмм, предупредительных и аварийных сигналов; а также автоматизированное рабочее место (АРМ) для отображения информации.

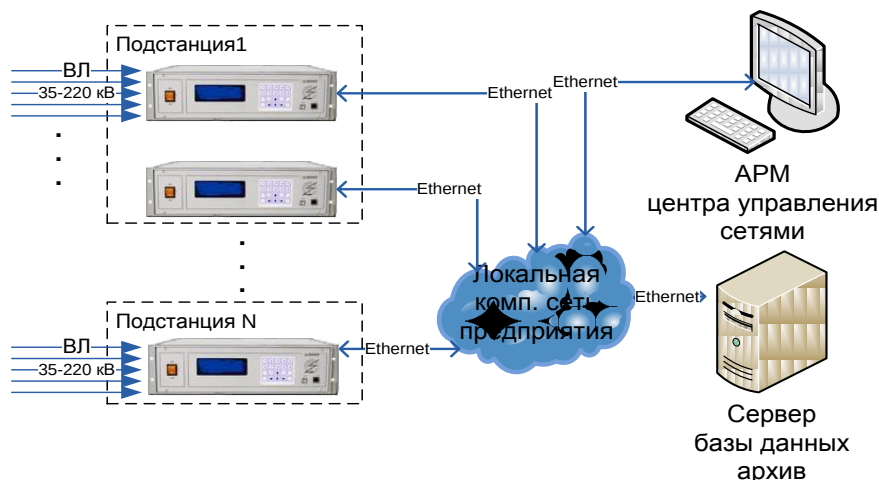


Рис. 4: Структурная схема мониторинга ЛЭП на базе устройств АЛИМП.

Информация с приборов о состоянии линий в реальном времени передаётся по Ethernet интерфейсу в рамках локальной вычислительной сети предприятия и сохраняется на сервере базы данных. Доступ к базе данных может быть выполнен с любого рабочего места оперативной, линейной и других служб предприятия. Для примера, на структурной схеме показано АРМ, расположенное в центре управления сетями. На АРМ установлена программа отображения состояния ЛЭП. Она включает в себя журнал событий и окно для анализа состояния ЛЭП в графическом виде.

На рис. 5 слева приведён пример отображения суточного (за 24 часа) состояния ВЛ 220 кВ длиной 36 км.

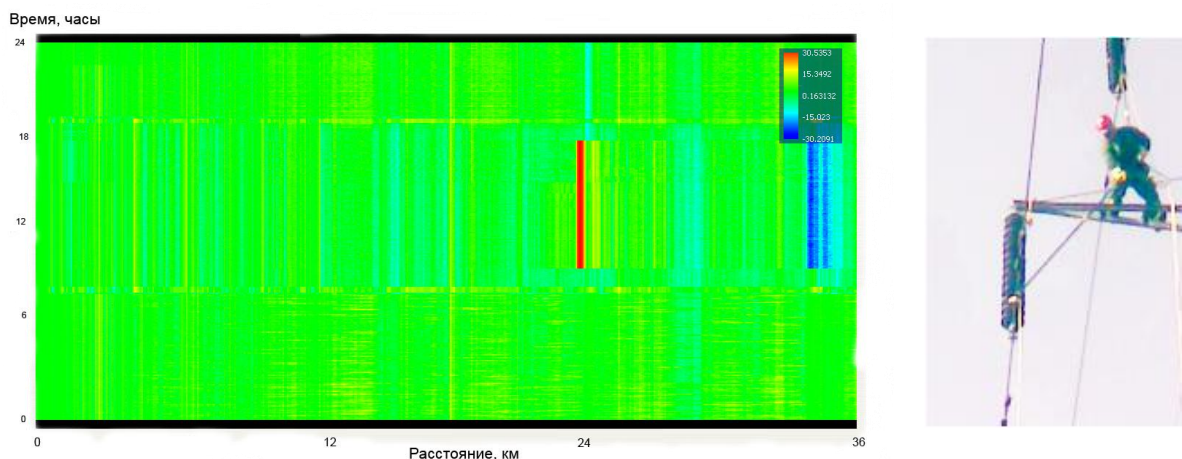


Рис. 5: Фотографическое представление относительных изменений параметров ЛЭП.
Проведение работ на линии

Ось «X» представлена как расстояние (км.), а ось «Y» как время (часы). Уровни относительного отклонения параметров линии соответствуют географической палитре. На примере данного рисунка видно, что на 24-м километре в 8-³⁰ часов произошло резкое изменение параметров ЛЭП. Такое изменение было вызвано работами на ВЛ с установкой

переносного заземления с 8^{30} до 18^{00} (рис. 5 справа). Уровень относительного изменения составил более 30 дБ.

Пример определения места возгорания деревьев под ВЛ 200 кВ «Этилен – Луч» системой мониторинга ЛЭП представлен на рис. 6.

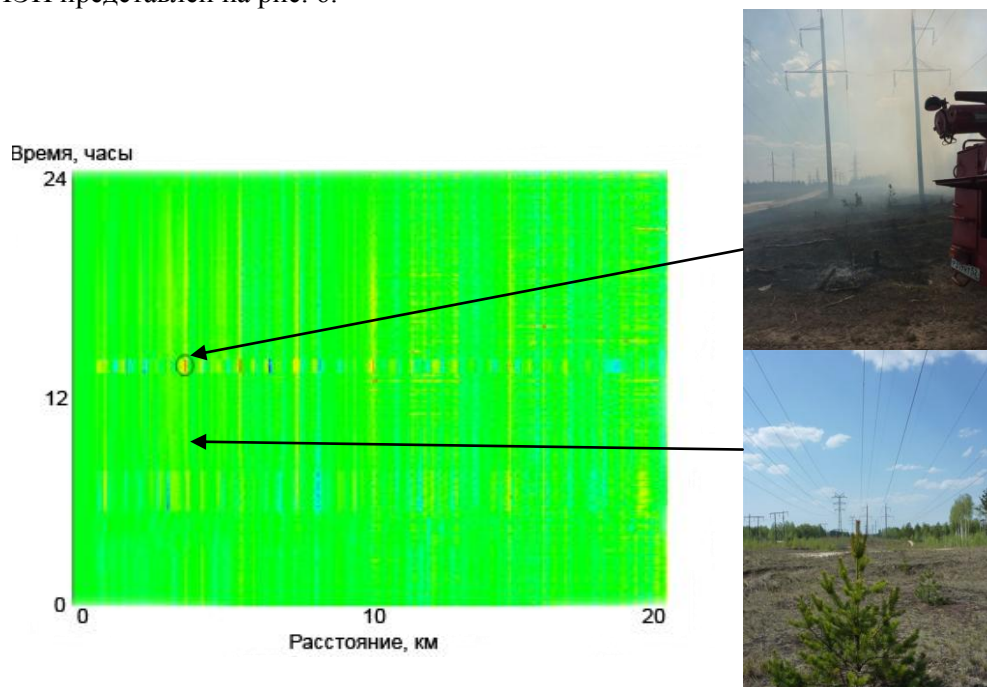
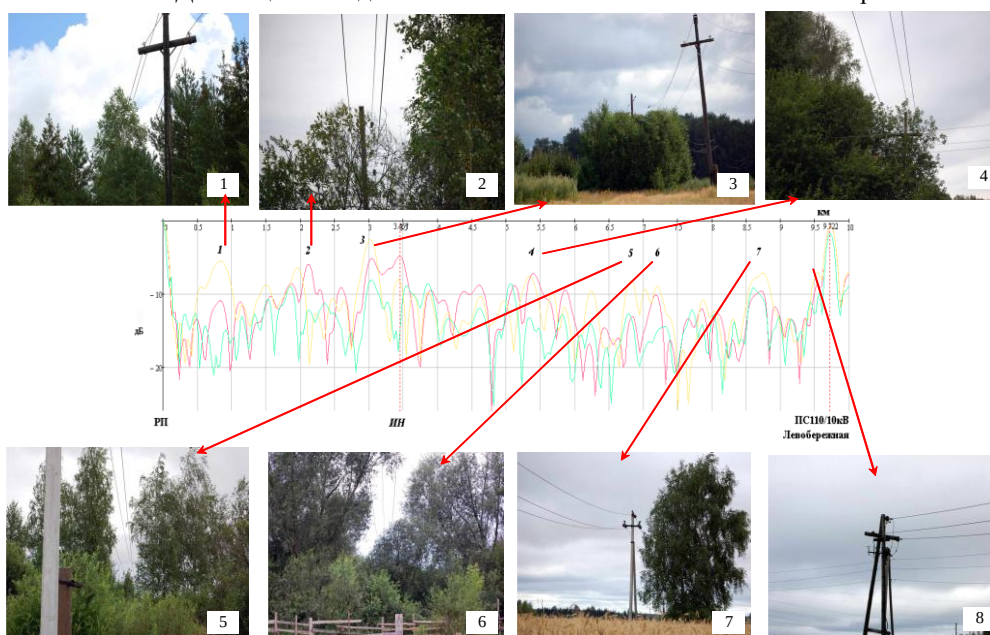


Рис. 6: Фотографическое представление относительных изменений параметров ЛЭП.
Определение места возгорания

На рис.7 показана фиксация недопустимого расстояния между токоведущими проводами воздушных линий и древесно-кустарниковой растительностью, а также выявленные нарушения изоляции ЛЭП.

Рис. 7: Дистанционная диагностика ВЛ 6 кВ на ПС 110 кВ «Левобережная».



Выявленные нарушения изоляции и неоднородности ЛЭП.

Графическое представление состояния ЛЭП удобно для анализа персоналом службы линий. Однако для службы оперативного персонала наиболее целесообразно представить

информацию в виде журнала событий (рис. 8), привязанных к повреждениям с содержанием следующих параметров:

- дата/ время;
- диспетчерское наименование линии;
- подстанция (место установки прибора);
- дистанция до места технологического отклонения;
- уровень или класс тревоги.

В зависимости от степени повреждения (уровня отклонения) программой генерируются предупредительные или аварийные сигналы. Большие значения отклонений, например, более 25 дБ, приравняются к аварийным сигналам со звуковым сопровождением и квитированием.

В программе мониторинга, устанавливаемой на АРМ, предусмотрены фильтры для просмотра журнала событий. К таким фильтрам относятся: сортировка и выборка событий по заданному временному интервалу; по подстанции; по наименованию линии; по степени повреждения и дистанции.

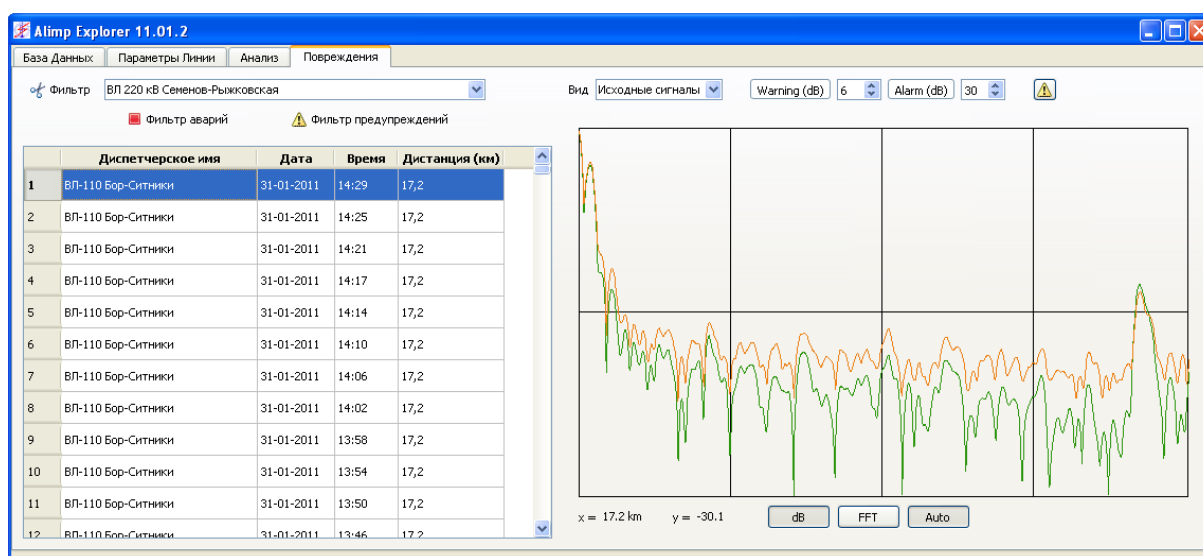


Рис. 8: Пример журнала событий.

2.3 Интеграция системы мониторинга

Современный электроэнергетический комплекс включает в себя такие системы как АСУ ТП, микропроцессорные терминалы защит ЛЭП, системы сбора и передачи технологической информации (ССПТИ), охранный комплекс и др.

Интеграция системы мониторинга ЛЭП необходима для объединения и структурирования поступающей информации в единый программно-технический комплекс (ПТК) подстанций, а также для взаимодействия с терминалами РЗА как показано на рис. 9.

Приборы АЛИМП могут взаимодействовать с терминалами РЗА для осуществления интеллектуального режима автоматического повторного включения ЛЭП в работу (АПВ). Суть интеллектуального АПВ заключается в следующем: в случае аварии после срабатывания релейной защиты устройство АЛИМП за время, не превышающее 30 мс., анализирует состояние ЛЭП и генерирует сигнал разрешения или блокировки режима автоматического повторного включения (АПВ) при обнаружении повреждений. При этом увеличивается ресурс выключателей из-за исключения подачи напряжения на повреждённую линию. Интеграция устройства с терминалами релейной защиты и автоматики (РЗА) может быть выполнена в двух вариантах (рис. 9). В первом варианте с терминалами, внешний интерфейс которых выполнен на RS485 с протоколом МЭК 60870-5-103, необходимы дополнительные связи в виде проводных линий. Во втором варианте дополнительные связи не требуются, поскольку протокол МЭК 61850 поддерживает GOOS сообщения между устройствами нижнего уровня, минуя верхний. Вариант 2 наиболее предпочтителен, так как он исключает прокладку дополнительных кабелей и рассчитан на работу с терминалами защит последнего поколения.

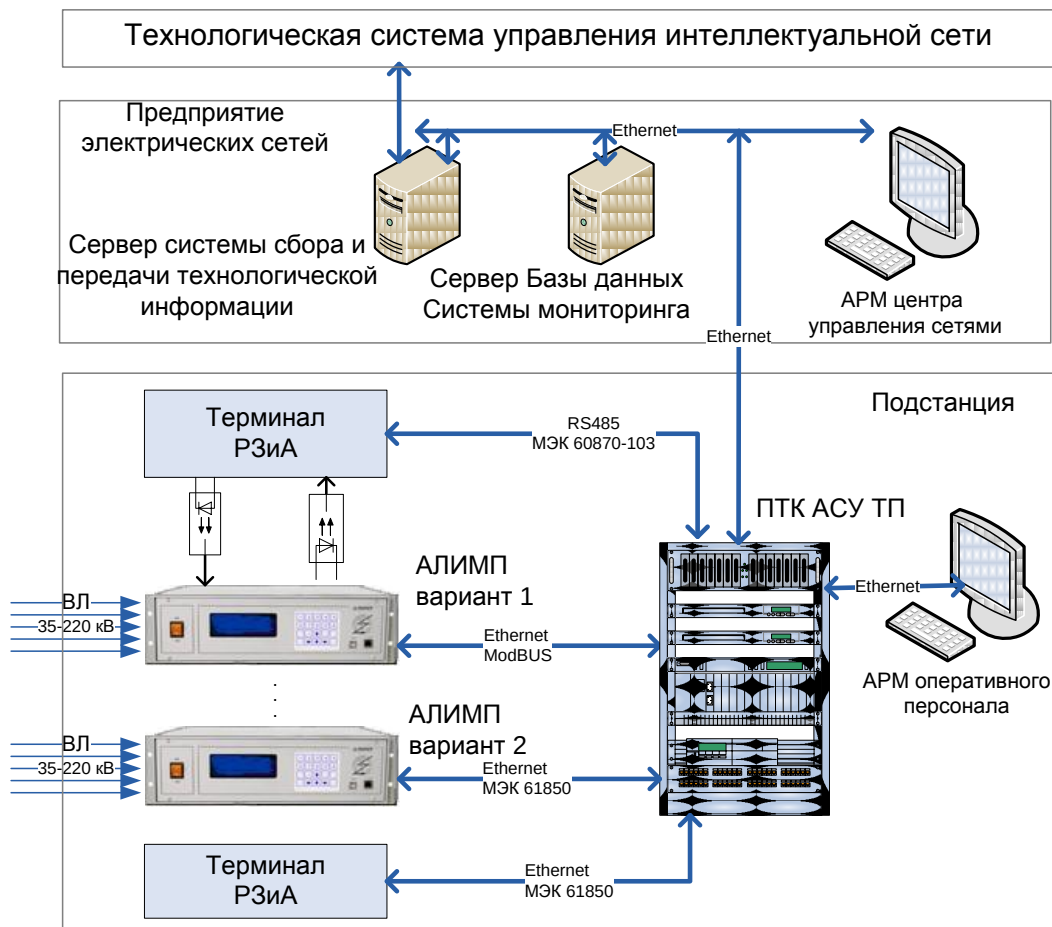


Рис. 9: Схема интеграции CM в ПТК ПС

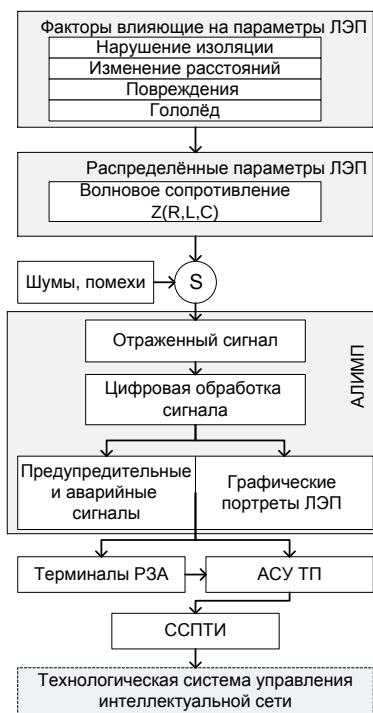


Рис. 10: Структурная схема преобразования информации о состоянии ЛЭП

По протоколу МЭК 61850 приборы интегрируются и в АСУ ТП, которая является основой для сбора и хранения технологической информации с системы мониторинга ЛЭП, а так же для передачи полученных сигналов и рефлектограмм на верхние уровни иерархии ПТК через систему сбора и передачи технологической информации (ССПТИ) (рис. 10). Аварийные сигналы из АСУ ТП, также могут быть использованы в системе охранного комплекса подстанций при отключенных ЛЭП.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование информации системы мониторинга параметров ЛЭП позволит существенно расширить диагностическую базу комплекса автоматизированных систем электрических сетей. Формирование и обработка предупреждающих сигналов об угрозах нарушения изоляции ЛЭП и местах таких угроз найдёт широкое применение при оперативном управлении и эксплуатации электросетевого комплекса. Предложенные технологии целесообразно использовать в интеллектуальных электрических сетях (smart grid).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куликов А.Л., Петрухин А.А., Кудрявцев Д.М. Диагностический комплекс по исследованию линий электропередач // ИЗВ. ВУЗОВ. Проблемы энергетики. – 2007. – № 7-8. – С.17-22.
- [2] Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
- [3] Г.М. Шалыт. Определение мест повреждений в электрических сетях. – М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 1982.
- [4] Куликов А.Л. Дистанционное определение повреждений ЛЭП / Под редакцией М.Ш. Мисриханова. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2006.